

2001-110790

[0016]

[Problems to be Solved by the Invention] However, the inventors of the present invention performed dry etching using C_5F_8 gas having a large C/F ratio for a silicon oxide film by using a resist film as a mask and it was found that selectivity is not improved compared with C_2F_6 gas having a small C/F ratio which has been used.

[0017] In the following, experiments will be described which the inventors of the present invention conducted.

[0018] The ICP plasma dry etching equipment was used as an etching equipment, the magnitude of electric power inputted to produce plasma was set at 1600W, a mixture of C_5F_8 and Ar gases was used as etching gas, the gas flow rate was set at C_5F_8 gas : Ar gas = 4.7 : 4.0 (ml/min) and the gas pressure was set at 0.133Pa. Using such a process condition, etching was performed for the silicon oxide film by using the resist film as a mask.

[0019] As a result, the selection ratio for the resist film was 1.81 in spite of using the gas (C_5F_8 gas) having a large C/F ratio. This selection ratio is not too changed compared with the gas (C_2F_6 gas) having a small C/F ratio which has been used.

[0020] In view of the above, it is an object of the present

invention to improve selectivity when dry etching is performed using fluorocarbon gases having 0.5 or more C/F ratios.

[0021]

[Means for Solving the Problems] The inventors of the present invention consider that the selection ratio for the resist film is improved for the following reason when dry etching is performed for the silicon oxide film using fluorocarbon gases having a large C/F ratio. That is, a polymer film is accumulated on the surfaces of the silicon oxide film and resist film and said polymer film inhibits etching. Thus, when the lowering degree of the etching rate for the silicon oxide film is less than that for the resist film, the selection ratio for the resist film is improved, while when the lowering degree of etching rate for the silicon oxide film is more than or the same as that for the resist film, the selection ratio for the resist film is not improved.

[0022] Therefore, if fluorocarbon gases having a large C/F ratio is used, the selection ratio for the resist film is not always improved and if fluorocarbon gases having large C/F ratios are used and if the lowering degree of the etching rate for the silicon oxide film is less than that for the resist film, the selection ratio for the resist film can be improved.

[0023] Moreover, noticing the residence time for fluorocarbon gas $\tau = P \times V/Q$ (provided that P is the pressure of fluorocarbon gas (unit : Pa), V is the volume of a reaction chamber (unit : L), Q is the flow rate (unit : Pa·L/sec) for fluorocarbon gas), the inventors of the present invention determined the resident time τ during which the selection ratio for the resist film is improved by varying the pressure and flow rate for fluorocarbon gas in reaction chambers having various volumes. As a result, it was found that when fluorocarbon gases whose C/F ratios are more than 0.5 is used, the selection ratio for the resist film is improved if the residence time τ is more than 0.1 (sec) and less than 1 (sec). In addition, when the residence time τ is less than 0.1 (sec), the selection ratio for the resist film is not improved, meaning that the accumulation of a polymer is promoted, that is, the accumulation rate of an organic film is improved.

[0024] Then, the residence time τ varies with the volume V of a reaction chamber as seen from the relational expression for the residence time $\tau = P \times V/Q$.

[0025] Then, it was found that if the conception of $P \times W_o/Q$ which is the product of the residence time $\tau = P \times V/Q$ and power density $P_i = W_o/V$ (provided that W_o is the magnitude of electric power and V is the volume of a reaction chamber) for electric power inputted to produce

plasma is introduced, the selection ratio for the resist film can be improved and the accumulation rate of an organic film can be improved regardless of the volume of a reaction chamber.

[0026] The present invention is made based on said findings and is more specifically as follows.

[0027] The first plasma treating method with which the present invention is concerned involves the process of installing a substrate, on whose surface a silicon oxide film is formed, inside the reaction chamber of a plasma treating equipment, the process of introducing into the reaction chamber fluorocarbon gases which contain carbon and fluorine and whose ratios of carbon to fluorine are more than 0.5, the process of producing plasma comprising fluorocarbon gas and performing etching for the silicon oxide film using said plasma and controlling the residence time $\tau = P \times V/Q$ (provided that P is the pressure of fluorocarbon gas (unit : Pa), V is the volume of a reaction chamber (unit : L) and Q is the flow rate (unit : Pa·L/sec) for fluorocarbon gas) for fluorocarbon gas in a reaction chamber between more than 0.1 (sec) and less than 1 (sec).

[0028] According to the first plasma treating method, because etching for the silicon oxide film is performed by controlling the residence time τ for fluorocarbon gas in a reaction chamber between more than 0.1 (sec) and less than 1

(sec), the selection ratio for the resist film can be improved to more than 2 in a process stabilized state.

[0029] The second plasma treating method with which the present invention is concerned involves the process of installing a substrate, on whose surface a silicon oxide film is formed, inside the reaction chamber of a plasma treating equipment, the process of introducing into the reaction chamber fluorocarbon gases which contain carbon and fluorine and whose ratios of carbon to fluorine are more than 0.5, the process of producing plasma comprising fluorocarbon gas and performing etching for the silicon oxide film using said plasma and controlling the $P \times W_o/Q$ value which is the product of the residence time $\tau = P \times V/Q$ (provided that P is the pressure of fluorocarbon gases (unit : Pa), V is the volume of a reaction chamber (unit : L) and Q is the flow rate (unit : Pa·L/sec) for fluorocarbon gas) and power density $P_i = W_o/V$ (provided that W_o is the magnitude of electric power (unit : W) and V is the volume of a reaction chamber (unit : L)) for electric power inputted to produce plasma between more than 0.8×10^4 (sec·W/m³) and less than 8×10^4 (sec·W/m³).

[0030] According to the second plasma treating method, because etching for the silicon oxide film is performed by controlling the $P \times W_o/Q$ value which is the product of the residence time τ for fluorocarbon gas in a reaction chamber

and power density P_i for electric power inputted to produce plasma between more than 0.8×10^4 (sec·W/m³) and less than 8×10^4 (sec·W/m³), the selection ratio for the resist film can be improved to more than 2 in a process stabilized state.

[0031] The third plasma treating method with which the present invention is concerned involves the process of installing a substrate inside the reaction chamber of a plasma treating equipment, the process of introducing into the reaction chamber fluorocarbon gases which contain carbon and fluorine and whose ratios of carbon to fluorine are more than 0.5, the process of producing plasma comprising fluorocarbon gas and accumulating an organic film on the substrate using said plasma and controlling the residence time $\tau = P \times V/Q$ (provided that P is the pressure of fluorocarbon gas (unit : Pa), V is the volume of a reaction chamber (unit : L) and Q is the flow rate (unit : Pa·L/sec) for fluorocarbon gas) for fluorocarbon gas below 0.1 (sec).

[0032] According to the third plasma treating method, because the accumulation of the organic film is performed by controlling the residence time τ for fluorocarbon gas in the reaction chamber below 0.1 (sec), the depositing rate of the organic film can be improved in a process stabilized state.

[0033] The forth plasma treating method with which the present invention is concerned involves the process of installing a substrate inside the reaction chamber of a

plasma treating equipment, the process of introducing into the reaction chamber fluorocarbon gases which contain carbon and fluorine and whose ratios of carbon to fluorine are more than 0.5, the process of producing plasma comprising fluorocarbon gas and accumulating an organic film on the substrate using said plasma and controlling the $P \times W_o/Q$ value which is the product of the residence time $\tau = P \times V/Q$ (provided that P is the pressure of fluorocarbon gas (unit : Pa), V is the volume of a reaction chamber (unit : L) and Q is the flow rate (unit : Pa·L/sec) for fluorocarbon gas) fluorocarbon gas and power density $P_i = W_o/V$ (provided that W_o is the magnitude of electric power (unit : W) and V is the volume of a reaction chamber (unit : L)) for electric power inputted to produce plasma below 0.8×10^4 (sec·W/m³).

[0034] According to the forth plasma treating method, because the accumulation of the organic film is performed by controlling the $P \times W_o/Q$ value which is the product of the residence time τ for fluorocarbon gas in a reaction chamber and power density P_i for electric power inputted to produce plasma below 0.8×10^4 (sec·W/m³), the depositing rate of the organic film can be improved in a process stabilized state.

[0035] In the first to forth plasma treating method, it is desirable that fluorocarbon gas is gas containing at least one of C_4F_8 , C_4F_6 , C_3F_8 , C_5F_8 and C_6F_6 gases.

[0036] In the first to forth plasma treating method, it is

desirable that the residence time τ is controlled by at least one of a mass flow controller placed in the plasma treating equipment, and a valve and a pump placed in the plasma treating equipment.

[0037] The fifth plasma treating method with which the present invention is concerned involves the process of installing a substrate, on whose surface a silicon oxide film is formed, inside the reaction chamber of a plasma treating equipment, the process of introducing into the reaction chamber the first fluorocarbon gases which contain carbon and fluorine and whose ratios of carbon to fluorine are more than 0.5, the process of producing the first plasma comprising the first fluorocarbon gases and performing etching for the silicon oxide film using said first plasma, the process of introducing into the reaction chamber the second fluorocarbon gases which contain carbon and fluorine and whose ratios of carbon to fluorine are more than 0.5, the process of producing the second plasma comprising the second fluorocarbon gases and accumulating an organic film on the etched silicon oxide film using said second plasma, controlling the first residence time $\tau_1 = P_1 \times V/Q_1$ (provided that P_1 is the pressure of the first fluorocarbon gas (unit : Pa), V is the volume of a reaction chamber (unit : L) and Q_1 is the flow rate (unit : Pa·L/sec) for the first fluorocarbon gas) for the first fluorocarbon gas in the

reaction chamber between more than 0.1 (sec) and less than 1 (sec) and controlling the second residence time $\tau_2 = P_2 \times V/Q_2$ (provided that P_2 is the pressure of the second fluorocarbon gas (unit : Pa), V is the volume of the reaction chamber (unit : L) and Q_2 is the flow rate (unit : Pa·L/sec) for the second fluorocarbon gas) for the second fluorocarbon gas in the reaction chamber below 0.1 (sec).

[0038] According to the fifth plasma treating method, the selection ratio for the resist film can be improved to more than 2 and the depositing rate of the organic film can be improved in a process stabilized state.

[0039] The sixth plasma treating method with which the present invention is concerned involves the process of installing a substrate, on whose surface a silicon oxide film is formed, inside the reaction chamber of a plasma treating equipment, the process of introducing into the reaction chamber the first fluorocarbon gases which contain carbon and fluorine and whose ratios of carbon to fluorine are more than 0.5, the process of producing the first plasma comprising the first fluorocarbon gases and performing etching for the silicon oxide film using said first plasma, the process of introducing into the reaction chamber the second fluorocarbon gases which contain carbon and fluorine and whose ratios of carbon to fluorine are more than 0.5, the process of producing the second plasma comprising the

second fluorocarbon gases and accumulating an organic film on the etched silicon oxide film using said second plasma, controlling the $P_1 \times W_1/Q_1$ value which is the first product of the first residence time $\tau_1 = P_1 \times V/Q_1$ (provided that P_1 is the pressure of the first fluorocarbon gas (unit : Pa), V is the volume of a reaction chamber (unit : L) and Q_1 is the flow rate (unit : Pa·L/sec) for the first fluorocarbon gas) for the first fluorocarbon gas in a reaction chamber and power density $Pi_1 = W_1/V$ (provided that W_1 is the magnitude of the first electric power (unit : W) and V is the volume of a reaction chamber (unit : L)) for the first electric power inputted to produce the first plasma between more than 0.8×10^4 (sec·W/m³) and less than 8×10^4 (sec·W/m³) and controlling the $P_2 \times W_2/Q_2$ value which is the second product of the second residence time $\tau_2 = P_2 \times V/Q_2$ (provided that P_2 is the pressure of the second fluorocarbon gas (unit : Pa), V is the volume of a reaction chamber (unit : L) and Q_2 is the flow rate (unit : Pa·L/sec) for the second fluorocarbon gas) for the second fluorocarbon gas in a reaction chamber and power density $Pi_2 = W_2/V$ (provided that W_2 is the magnitude of the second electric power (unit : W) and V is the volume of a reaction chamber (unit : L)) for the second electric power inputted to produce the second plasma below 0.8×10^4 (sec·W/m³).

[0040] According to the sixth plasma treating method, the

selection ratio for the resist film can be improved to more than 2 and the depositing rate of the organic film can be improved in a process stabilized state.

[0041] In the fifth or sixth plasma treating method, it is desirable that the first fluorocarbon gas is gas containing at least one of C_4F_8 , C_3F_8 , C_5F_8 and C_6F_6 gases and that the second fluorocarbon gas is gas containing at least one of C_4F_8 , C_4F_6 , C_3F_8 , C_5F_8 and C_6F_6 gases.

[0042] In the fifth or sixth plasma treating method, it is desirable that the first residence time τ_1 and the second residence time τ_2 are controlled by at least one of a mass flow controller placed in the plasma treating equipment, and a valve and a pump placed in the plasma treating equipment, respectively.

[0043]

[Description of the Embodiments] In the following, the plasma treating method with which each embodiment of the present invention is concerned will be described and as its premise, the solving principle of the present invention will be described.

[0044]

[Table 1]

[0045]

[Table 2]

[0046]

[Table 3]

[0047] [Table 1], [Table 2] and [Table 3] show the results of experiments in which the residence times τ of the gases in the reaction chamber were determined by performing plasma etching with varying the volume of the reaction chamber, the flow rate of C_5F_8 gas and the pressure of C_5F_8 gas in the plasma etching method using the C_5F_8 gas as etching gas.

[0048] Further, [Table 1] is a case where the volume of the reaction chamber is 25 liters, [Table 2] is a case where the volume of the reaction chamber is 10 liters and [Table 3] is a case where the volume of the reaction chamber is 50 liters. In addition, because in an experiment determining the residence time τ , the flow rate (mL) per one minute in a normal state was used as a gas flow rate, the flow rate of C_5F_8 gas is expressed as a unit of ($\times 133.3/79.05$ (Pa.L/sec)) based on the conversion formula of the gas flow rate per one minute in a normal state 79.05 (mL) = 133.3 (Pa.L/sec).

Moreover, since mTorr was used as a gas pressure, the flow rate of the C_5F_8 gas is expressed as a unit of ($\times 0.133$ (Pa)) based on the conversion formula of 1 (mTorr) = 0.133 (Pa).

[0049] For data of [Table 1], [Table 2] and [Table 3], the residence times τ for the gases were determined by substituting values of the volume of the reaction chamber (unit : L), the gas flow rate (unit : Pa.L/sec) and the gas pressure (unit : Pa) for the relational expression $\tau = P \times$

V/Q (provided that τ is the residence time τ for gas in a reaction chamber, P is gas pressure (unit : Pa), V is the volume of a reaction chamber (unit : L) and Q is the gas flow rate (unit : Pa·L/sec)). In addition, in [Table 1], [Table 2] and [Table 3], the areas enclosed with a frame of a thick line show the residence time during which the selection ratio of the silicon oxide film for the resist film is more than 2.

[0050] Thus, it is found from [Table 1], [Table 2] and [Table 3] that in the plasma etching method using C_5F_8 gas as etching gas, values of more than 2 are obtained as the selection ratio of the silicon oxide film for the resist film if the residence times τ are more than 1.0 (sec) and less than 1 (sec). Further, also in areas other than those enclosed with a thick frame, some residence times τ belong to the range 0 to 1 (sec), but it has been found from our experience that if the gas flow rate and gas pressure corresponding to the areas enclosed with a thick frame are used, the process is stabilized. Although in [Table 1], [Table 2] and [Table 3], the residence times τ are distributed in the range 0.01 (sec) to 395.3 (sec), the present invention selected an extremely narrow area of the range 1.0 to 1 (sec) and found that if this extremely narrow area is selected for the residence times, the process is stabilized and the selection ratios of the silicon oxide

film for the resist film are more than 2.

[0051] Furthermore, when the residence times τ are less than 0.1 (sec), the selection ratio for the resist film is low, meaning that the accumulation of a polymer is promoted, that is, the accumulation rate of an organic film is improved. Therefore, if the residence times τ for gas are set at less than 0.1 (sec), the accumulation rate of the organic film is improved.

[0052] Then, as seen from the above-mentioned relational expression of $\tau = P \times V/Q$, the residence time varies with the volume of a reaction chamber.

[0053] Then, the conception of $E = P \times W_o/Q$ which is the product of power density $P_i = W_o/V$ (provided that W_o is the magnitude of electric power (unit :W) and V is the volume of a reaction chamber (unit : L)) for electric power inputted to produce plasma and the residence time τ is introduced. Thus, the selection ratio for the resist film can be improved and the accumulation rate of an organic film can be improved regardless of the volume of a reaction chamber.

[0054] The fact that the residence times τ are in the range which is lower than 1.0 and less than 1 (sec) corresponds to the fact that the product E of the residence time τ and power density P_i is more than 0.8×10^4 (sec·W/m³) and less than 8×10^4 (sec·W/m³).

[0055] Thus, if the product E of the residence time τ and

power density P_i is more than 0.8×10^4 (sec·W/m³) and less than 8×10^4 (sec·W/m³), a process is stabilized and the selection ratios of the silicon oxide film for the resist film are more than 2.

[0056] If the product E of the residence time τ and power density P_i is less than 0.8×10^4 (sec·W/m³), the accumulation rate of an organic film is improved.

[0057] Fig. 2 shows the relation between the residence time τ and the etching rate of BPSG (Boro-phosphate-silicate glass) and the resist film when plasma etching is performed with varying etching gas. Further, in Fig. 2, ★ shows the etching rates for BPSG film when C_2F_6 gas is used, ◆ shows the etching rates for BPSG film when C_4F_8 gas is used, ● shows the etching rates for BPSG film when C_5F_8 gas is used, ☆ shows the etching rates for BPSG film when C_2F_6 gas is used, ◇ shows the etching rates for BPSG film when C_4F_8 gas is used and ○ shows the etching rates for BPSG film when C_5F_8 gas is used.

[0058] It is found from Fig. 2 that when C_4F_8 and C_5F_8 gases are used, the etching rates for the BPSG and resist films are lower if the residence times are short. This is considered to be due to the fact that a polymer film is accumulated on each surface of the BPSG and resist films and said polymer film serves to inhibit etching. On the other hand, it is found that when C_2F_6 gas is used, the etching

rates for the BPSG and resist films are great if the residence times are short.

[0059] Fig. 3 shows the ratio of the etching rate for the BPSG film to the etching rate for the resist film, that is, the dependency of the selection ratio for the resist film on the residence time τ . Further, in Fig. 3, ★ shows the selection ratios when C_2F_6 gas is used, ◆ shows the selection ratios when C_4F_8 gas is used and ● shows the selection ratios when C_5F_8 gas is used.

[0060] It is found from Fig. 3 that when C_4F_8 and C_5F_8 gases are used, the selection ratios for the resist film are great if the residence times are short. When C_4F_8 gas is used, the selection ratios are decreased if the residence times are less than 0.2 (sec), though. This is due to the fact that the decrease in the etching rate for the BPSG film is greater than that for the resist film. On the other hand, it is found that when C_2F_6 gas is used, the selection ratios hardly depend on the residence times.

[0061] It is confirmed from the above consideration that when fluorocarbon gases whose carbon ratios are more than 0.5 such as C_4F_8 and C_5F_8 gases is used, the etching selectivity is improved if the residence times are controlled between more than 0.1 (sec) and less than 1 (sec).

[0062] Fig. 4 shows the dependency of each ion quantity of F^- , CF_3^- , $C_2F_5^-$, $C_3F_7^-$, $C_4F_{11}^-$ and $C_5F_{11}^-$ ions on the residence

time when plasma comprising fluorocarbon gas is generated in an inductive coupling type plasma treating equipment and this determination was carried out using the electron deposit mass spectrography. Thus, F^- ion is generated by the dissociative electron deposit process from all C_xF_y molecules, CF_3^- ion is generated by the dissociative electron deposit process from CF_4 molecule and $C_2F_5^-$ ion is generated by the dissociative electron deposit process from C_2F_6 molecule. In addition, $C_5F_7^-$, $C_7F_{11}^-$ and $C_8F_{11}^-$ ions are generated by both the similar dissociative electron deposit and non dissociative electron deposit processes.

[0063] It is found from Fig. 4 that if the residence times are short, lower order ions such as F^- , CF_3^- and $C_2F_5^-$ ions decrease, while higher order ions such as $C_5F_7^-$, $C_7F_{11}^-$ and $C_8F_{11}^-$ ions increase. That is, it is found that if the residence times are short, lower order molecules decrease, while higher order molecules increase and therefore, it is found that if the residence times are short, the selectivity for the resist film is improved.

[0064] Fig. 5 shows the relation between the product E of the residence time τ and power density P_i and the etching rates of BPSG and the resist film when plasma etching is performed with varying etching gas. Further, in Fig. 5, the power density P_i is calculated as 1800W. In addition, in Fig. 5, ★ shows the etching rates for BPSG film when C_2F_6

gas is used, \blacklozenge shows the etching rates for BPSG film when C_4F_8 gas is used, \bullet shows the etching rates for BPSG film when C_5F_8 gas is used, \star shows the etching rates for BPSG film when C_2F_6 gas is used, \diamond shows the etching rates for BPSG film when C_4F_8 gas is used and \bigcirc shows the etching rates for BPSG film when C_5F_8 gas is used.

[0065] It is found from Fig. 5 that when C_4F_8 and C_5F_8 gases are used, the etching rates for the BPSG and resist films are lower if the product E of the residence time and power density is lower. This is due to the fact that the relation similar to that between the above-mentioned residence times τ and etching rates of the BPSG and resist films holds good.

[0066] Fig. 6 shows the dependency of the selection ratios for the resist film on the product E of the residence time and power density. Further, in Fig. 6, the power density P_i is calculated as 1800W. In addition, in Fig. 6, \star shows the selection ratios when C_2F_6 gas is used, \blacklozenge shows the selection ratios when C_4F_8 gas is used, \bullet shows the selection ratios when C_5F_8 gas is used.

[0067] It is found from Fig. 6 that when C_4F_8 and C_5F_8 gases are used, the selection ratios for the resist film are great if the product E of the residence time and power density is lower. This is due to the fact that the relation similar to that between the above-mentioned residence times and selection ratios holds good.

[0068] It is confirmed from the above consideration that when fluorocarbon gases whose carbon ratios are more than 0.5 such as C_4F_8 and C_5F_8 gases are used, the etching selectivity is improved if the product E of the residence time and power density is controlled between more than 0.8×10^4 (sec·W/m³) and less than 8×10^4 (sec·W/m³).

[0069] Fig. 7 shows the dependency of each ion quantity of F^- , CF_3^- , $C_2F_5^-$, $C_5F_7^-$, $C_7F_{11}^-$ and $C_8F_{11}^-$ ions on the residence times when plasma comprising fluorocarbon gas is generated in an inductive coupling type plasma treating equipment.

[0070] It is found from Fig. 7 that if the product E of the residence time and power density is lower, lower order ions such as F^- , CF_3^- and $C_2F_5^-$ ions decrease, while higher order ions such as $C_5F_7^-$, $C_7F_{11}^-$ and $C_8F_{11}^-$ ions increase. That is, it is found that if the product E of the residence time and power density is lower, the selectivity for the resist film is improved.

[0071] Figs. 8(a) to (c) show the results of the electronic energy strength distribution of F^- ion determined using the residence time as a parameter, Fig. 8(a) is a case where the residence time is 4.5 (sec), Fig. 8(b) is a case where the residence time is 5.2 (sec) and Fig. 8(c) is a case where the residence time is 13.5 (sec). These strength distributions may be determined if dissociative fragments from each molecule can be observed and if the cross section

is known.

[0072] It is found from Figs. 8(a) to (c) that for C_2F_6 and C_3F_8 gases, if the residence time are long, they increase. This phenomenon has consistency with the results shown in Fig. 3. In addition, It is found from Figs. 8(a) to (c) that if the residence times are short, fluorocarbon gases to be regulated such as C_2F_6 and C_3F_8 gases which have a deleterious effect on environment can be reduced.

[0073] Then, in Japanese Unexamined Patent Application Publication No. 5-259119 Official Gazette, the technique is proposed that the residence time τ is shortened by using a high speed exhaust pump and that the etching selection ratio is attempted to be improved thereby. The technique shown in [0051], Fig. 7 and its description in Japanese Unexamined Patent Application Publication No. 5-259119 Official Gazette is at first glance similar to the present invention.

[0074] However, the problem which the invention of Japanese Unexamined Patent Application Publication No. 5-259119 Official Gazette tries to solve is to try to lessen the influence of reaction products (CO_2 or the like) from wafer by high speed exhaust of CO_2 in the right side expressed as a chemical formula: $SiO_2 + CF_x \rightarrow SiF_x + CO_2$ and the invention of Japanese Unexamined Patent Application Publication No. 5-259119 Official Gazette does not specify etching gas.

[0075] In contrast, the present invention has no problem

like said one at all and has found it important to set the residence time or the product E of the residence time and power density in a predetermined range in order to make surely high the selection ratio for the resist film when etching is performed using gas whose C/N ratio is great. Therefore, the invention of Japanese Unexamined Patent Application Publication No. 5-259119 Official Gazette in which etching gas is not specified and the present invention in which process gas is specified as fluorocarbon gases whose C/N ratios are more than 2 are quite different in technical thought, constitution and effect.

[Fig. 1]

Exhaust

[Fig. 2]

(resist)

(resist)

(resist)

Etching rate (nm/min)

Residence time τ (sec)

[Fig. 3]

Selection ratio for resist film

Residence time τ (sec)

[Fig. 4]

Ion quantity (a given unit)

Residence time τ (sec)

[Fig. 5]

Etching rate (nm/min)

(resist)

(resist)

(resist)

Product of residence time and power density ($\text{sec} \cdot \text{W}/\text{m}^3$)

[Fig. 6]

Selection ratio for resist film

Product of residence time and power density ($\text{sec} \cdot \text{W}/\text{m}^3$)

[Fig. 7]

Ion quantity (a given unit)

Product of residence time and power density ($\text{sec} \cdot \text{W}/\text{m}^3$)

[Fig. 9]

SA1 Installation of semiconductor substrate

SA2 Introduction of process gas

SA3 Control of residence time τ : $0.1 \text{ second} < \tau \leq 1 \text{ second}$

SA4 Production of plasma

SA5 Applying the second high frequency electric power to a sample stand

SA6 plasma etching

[Fig. 8]

(a)

Strength distribution (a given unit)

Electronic energy (ev)

(b)

Strength distribution (a given unit)

Electronic energy (ev)

(c)

Strength distribution (a given unit)

Electronic energy (ev)

[Fig. 10]

SB1 Installation of semiconductor substrate

SB2 Introduction of process gas

SB3 Control of residence time τ : $\tau \leq 0.1$ second

SB4 Production of plasma

SB5 Applying the second high frequency electric power to a sample stand

SB6 Accumulation of an organic film

[Fig. 11]

SC1 Installation of semiconductor substrate

SC2 Introduction of the first process gas

SC3 Control of residence time τ : $0.1 \text{ second} < \tau \leq 1 \text{ second}$

SC4 Production of the first plasma

SC5 Applying the second high frequency electric power to a sample stand

SC6 Plasma etching

SC7 Etching by oxygen plasma

SC8 Introduction of the second process gas

SC9 Control of residence time τ : $\tau \leq 0.1$ second

SC10 Production of the second plasma

SC11 Applying the second high frequency electric power to a

- 25 -

sample stand

SC12 Accumulation of an organic film

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開 2001-110790

(P2001-110790A)

(43) 公開日 平成13年4月20日 (2001.4.20)

(51) Int. Cl. 7	識別記号	FI	キーワード (参考)
H01L	21/3065	H01L	21/205
	21/205	H05H	1/46
H05H	1/46		L
			A
		H01L	21/302
			J
			F
審査請求	有	請求項の数 10	OL (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2000-232723 (P2000-232723)

(22) 出願日 平成12年8月1日 (2000.8.1)

(31) 優先権主張番号 特願平11-218631

(32) 優先日 平成11年8月2日 (1999.8.2)

(33) 優先権主張国 日本 (JP)

(71) 出願人 000005843

松下電子工業株式会社

大阪府高槻市幸町1番1号

(72) 発明者 今井 伸一

大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内

(74) 代理人 100077931

弁理士 前田 弘 (外7名)

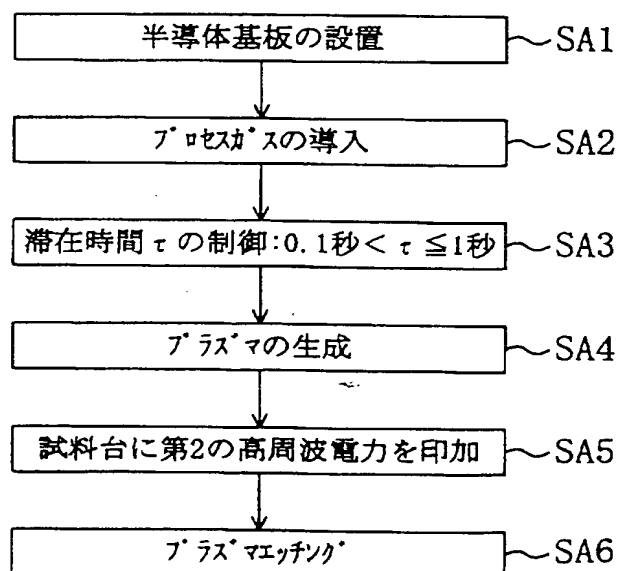
(54) 【発明の名称】 プラズマ処理方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 C/F比が0.5以上であるフルオロカーボンガスを用いてドライエッチングを行なう場合の選択性を向上させる。

【解決手段】 プラズマ処理装置の反応室内に、シリコン酸化膜が形成されていると共に該シリコン酸化膜の上にレジスト膜が形成されている半導体基板を設置した後、反応室内に、C/F比が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する。この場合、 $\tau = P \times V / Q$

(但し、 τ は反応室におけるガスの滞在時間(単位:sec)であり、Pはガスの圧力(単位:Pa)であり、Vは反応室の容積(単位:L)であり、Qはガスの流量(単位:Pa・L/sec)である。)の関係式を用いて、滞在時間 τ が0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下になるように、ガス流量を制御する。次に、フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成して、レジスト膜をマスクにしてシリコン酸化膜に対してプラズマエッチングを行なう。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて前記シリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程とを備え、

前記フルオロカーボンガスの前記反応室における滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 P は前記フルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q は前記フルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）を0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下に制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項2】 プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて前記シリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程とを備え、

前記フルオロカーボンガスの前記反応室における滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 P は前記フルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q は前記フルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）と、前記プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_o / V$ （但し、 W_o は前記電力の大きさ（単位：W）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）である。）との積である $P \times W_o / Q$ の値を $0.8 \times 10^{-4} \text{ (sec} \cdot \text{W/m}^3\text{)}$ よりも大きく且つ $8 \times 10^{-4} \text{ (sec} \cdot \text{W/m}^3\text{)}$ 以下に制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項3】 プラズマ処理装置の反応室の内部に基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて前記基板上に有機膜を堆積する工程とを備え、

前記フルオロカーボンガスの滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 P は前記フルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q は前記フルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）を0.1(sec)以下に制御すること

を特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項4】 プラズマ処理装置の反応室の内部に基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて前記基板上に有機膜を堆積する工程とを備え、

10 前記フルオロカーボンガスの滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 P は前記フルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q は前記フルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）と、前記プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_o / V$ （但し、 W_o は前記電力の大きさ（単位：W）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）である。）との積である $P \times W_o / Q$ の値を $0.8 \times 10^{-4} \text{ (sec} \cdot \text{W/m}^3\text{)}$ 以下に制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

20 【請求項5】 前記フルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_5F_8 ガス及び C_6F_8 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスであることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載のプラズマ処理方法。

【請求項6】 前記滞在時間 τ は、前記プラズマ処理装置に設けられたマスフローコントローラと、前記プラズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも1つにより制御されることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に記載のプラズマ処理方法。

30 【請求項7】 プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第1のフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記第1のフルオロカーボンガスからなる第1のプラズマを生成し、該第1のプラズマを用いて前記シリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程と、

40 前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第2のフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記第2のフルオロカーボンガスからなる第2のプラズマを生成し、該第2のプラズマを用いて、エッチングが完了した前記シリコン酸化膜の上に有機膜を堆積する工程とを備え、

50 前記第1のフルオロカーボンガスの前記反応室における第1の滞在時間 $\tau_1 = P_1 \times V / Q_1$ （但し、 P_1 は前記第1のフルオロカーボンガスの圧力（単位：Pa）であり、 V は前記反応室の容積（単位：L）であり、 Q_1 は前記第1のフルオロカーボンガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）を0.1(sec)以下に制御すること

sec)である。)を0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下に制御し、

前記第2のフルオロカーボンガスの前記反応室における第2の滞在時間 $\tau_2 = P_2 \times V / Q_2$ (但し、 P_2 は前記第2のフルオロカーボンガスの圧力(単位:Pa)であり、 V は前記反応室の容積(単位:L)であり、 Q_2 は前記第2のフルオロカーボンガスの流量(単位:Pa・L/sec)である。)を0.1(sec)以下に制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項8】 プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第1のフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記第1のフルオロカーボンガスからなる第1のプラズマを生成し、該第1のプラズマを用いて前記シリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程と、

前記反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第2のフルオロカーボンガスを導入する工程と、

前記第2のフルオロカーボンガスからなる第2のプラズマを生成し、該第2のプラズマを用いて、エッチングが完了した前記シリコン酸化膜の上に有機膜を堆積する工程とを備え、

前記第1のフルオロカーボンガスの前記反応室における第1の滞在時間 $\tau_1 = P_1 \times V / Q_1$ (但し、 P_1 は前記第1のフルオロカーボンガスの圧力(単位:Pa)であり、 V は前記反応室の容積(単位:L)であり、 Q_1 は前記第1のフルオロカーボンガスの流量(単位:Pa・L/sec)である。)と、前記第1のプラズマを生成するために投入される第1の電力の電力密度 $P_{i1} = W_1 / V$ (但し、 W_1 は前記第1の電力の大きさ(単位:W)であり、 V は前記反応室の容積(単位:L)である。)である。)との第1の積である $P_1 \times W_1 / Q_1$ の値を 0.8×10^4 (sec・W/m³)よりも大きく且つ 8×10^4 (sec・W/m³)以下に制御し、

前記第2のフルオロカーボンガスの前記反応室における第2の滞在時間 $\tau_2 = P_2 \times V / Q_2$ (但し、 P_2 は前記第2のフルオロカーボンガスの圧力(単位:Pa)であり、 V は前記反応室の容積(単位:L)であり、 Q_2 は前記第2のフルオロカーボンガスの流量(単位:Pa・L/sec)である。)と、前記第2のプラズマを生成するために投入される第2の電力の電力密度 $P_{i2} = W_2 / V$ (但し、 W_2 は前記第2の電力の大きさ(単位:W)であり、 V は前記反応室の容積(単位:L)である。)との第2の積である $P_2 \times W_2 / Q_2$ の値を 0.8×10^4 (sec・W/m³)以下に制御することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項9】 前記第1のフルオロカーボンガスは、C

$_4F_8$ ガス、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_2F_6 ガス及び C_2F_4 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスであり、前記第2のフルオロカーボンガスは、 C_4F_6 ガス、 C_3F_8 ガス、 C_2F_6 ガス及び C_2F_4 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスであることを特徴とする請求項7又は8に記載のプラズマ処理方法。

【請求項10】 前記第1の滞在時間 τ_1 及び前記第2の滞在時間 τ_2 は、前記プラズマ処理装置に設けられたマスフローコントローラと、前記プラズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも1つによりそれぞれ制御されることを特徴とする請求項7又は8に記載のプラズマ処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体装置の製造プロセスにおいて用いられるプラズマ処理方法に関し、特にフルオロカーボンガスからなるプラズマを用いてエッチング又は成膜を行なうプラズマ処理方法に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体デバイスの微細化は加速的に進歩しており、いよいよ0.1 μ mレベルの加工を必要としてきている。

【0003】ところが、半導体デバイスの製造プロセスは、基本的には従来と変わることなく行なわれており、半導体基板上に薄膜を堆積した後、該薄膜の上にリソグラフィにより有機膜からなるレジスト膜を形成し、その後、該レジスト膜を用いて薄膜をエッチングするものである。

【0004】もっとも、半導体デバイスの微細化に対応するため、リソグラフィの露光光は、i線、KrFエキシマレーザ又はArFエキシマレーザと変化しており、露光光の変化に対応する有機レジスト膜も開発されている。

【0005】また、0.1 μ mレベルの加工を行なうための露光光としてはArFエキシマレーザの導入が検討されているが、この場合には、有機レジスト膜のエッチング耐性が乏しいことが指摘されている。

【0006】そこで、レジスト膜に対する選択性を確保するために、さまざまな技術が提案されている。例えば反応室内の部材にシリコン材料を用いて、該シリコン材料がフッ素をスカベンジする機能を利用する技術、すなわち、エッチングガス中のフッ素の濃度を低くして、レジストに対する選択性を向上させる技術が提案されている。

【0007】以下、従来のプラズマ処理方法について、図1を参照しながら説明する。

【0008】図1は、誘導結合型プラズマ処理装置の概略構造を示しており、図1に示すように、反応室10の内壁は石英板11により覆われている。反応室10の外側には誘導コイル12が設けられており、誘導コイル1

2の一端は第1の高周波電源13に接続されていると共に、誘導コイル12の他端は接地されている。

【0009】反応室10のガス導入部14は、マスフローコントローラ15を介してガス供給源（ガスボンベ）16に接続されていると共に、反応室10のガス排出部17は、圧力制御バルブ18を介して排気ポンプ19に接続されており、反応室10のガス圧力は、マスフローコントローラ15と、圧力制御バルブ18及び排気ポンプ19との少なくとも一方により制御される。

【0010】反応室10の内部には、下部電極となる試料台20が設けられており、該試料台20は、マッチング回路21を介して第2の高周波電源22に接続されている。

【0011】制御装置23は、第1の高周波電源12、第2の高周波電源22、マスフローコントローラ15及び圧力制御バルブ18に制御信号を送ることにより、第1の高周波電源12から誘導コイル12に供給される第1の高周波電力、第2の高周波電源22から試料台22に供給される第2の高周波電力、ガス供給源16から反応室10に供給されるガスの流量、反応室10から排出されるガスの流量を制御する。

【0012】通常、反応室10のガス圧力は、排気ポンプ19の駆動を継続した状態で圧力制御バルブ18を制御することにより、0.133Pa～1.33Paの範囲内の所定値に制御される。

【0013】プロセスガスをガス導入部14から反応室10に供給すると共に反応室10のガス圧力を所定値に保った状態で、第1の高周波電源13から誘導コイル12に第1の高周波電力を供給して、プロセスガスからなるプラズマを発生させ、その後、第2の高周波電源22から試料台20に第2の高周波電力を供給して、発生したプラズマを試料台20の上に接地されている半導体基板に引き込む。これによって、半導体基板の表面に形成されている薄膜がエッチングされたり又は半導体基板の表面に薄膜が堆積されたりする。

【0014】前述したように、シリコン材料はフッ素をスカベンジする機能を有しているため、反応室10の内部にフッ素を含むエッチングガスを導入すると、シリコン材料からなる試料台20及びシリコンリング（図示は省略している。）はフッ素と結合して SiF_x （ $x=3, 4$ ）を生成する。これによって、エッチングガス中のフッ素の濃度が調整され、エッチングレートが制御される。尚、フッ素の濃度がレジスト膜のエッチングレートに影響を与えることは一般に知られている。

【0015】そこで、特開平10-98024号公報においては、レジスト膜をマスクとしてシリコン酸化膜に対してドライエッチング（プラズマエッチング）を行なう際に、シリコン酸化膜のレジスト膜に対する選択比を向上させるため、フッ素に対する炭素の比率（以下、C/F比と称する。）が比較的大きいフルオロカーボンガ

ス、例えば C_5F_8 ガスを用いることが好ましいと提案されている。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、本件発明者らが、レジスト膜をマスクとしてシリコン酸化膜に対して、C/F比が大きい C_5F_8 ガスを用いてドライエッチングを行なったところ、従来から用いられているC/F比が小さい C_2F_6 ガスに比べて、選択性が向上しないことが分かった。

10 【0017】以下、本件発明者が行なった実験について説明する。

【0018】エッチング装置としてはICPプラズマドライエッチング装置を用い、プラズマを生成するために投入される電力の大きさは1600Wに設定し、エッチングガスとしては C_5F_8 ガスと Ar ガスとの混合ガスを用い、ガス流量は C_5F_8 ガス： Ar ガス=4.7:4.0（ml/min）に設定し、ガス圧力は0.133Paに設定した。このようなプロセス条件を用いて、レジスト膜をマスクにしてシリコン酸化膜に対してエッチングを行なった。

20 【0019】その結果、C/F比が大きいガス（ C_5F_8 ガス）を用いているにも拘わらず、レジスト膜に対する選択比は1.81であった。この選択比は、従来から用いられているC/F比が小さいガス（ C_2F_6 ガス）と比較してそれほど変わらない。

【0020】前記に鑑み、本発明は、C/F比が0.5以上であるフルオロカーボンガスを用いてドライエッチングを行なう場合の選択性を向上させることを目的とする。

30 【0021】

【課題を解決するための手段】本件発明者は、C/F比が大きいフルオロカーボンガスを用いてシリコン酸化膜に対してドライエッチングを行なった場合に、レジスト膜に対する選択比が向上するのは次の理由によるものと考え。すなわち、シリコン酸化膜及びレジスト膜の表面にポリマー膜が堆積され、該ポリマー膜がエッチングを抑制する。このため、シリコン酸化膜のエッチングレートの低下の程度が、レジスト膜のエッチングレートの低下の程度よりも少ない場合に、レジスト膜に対する選択比は向上する一方、シリコン酸化膜のエッチングレートの低下の程度が、レジスト膜のエッチングレートの低下の程度に比べて大きい又は同じ場合には、レジスト膜に対する選択比は向上しない。

40 【0022】従って、C/F比が大きいフルオロカーボンガスを用いるとレジスト膜に対する選択比が必ず向上するのではなく、C/F比が大きいフルオロカーボンガスを用いると共に、シリコン酸化膜のエッチングレートの低下の程度をレジスト膜のエッチングレートの低下の程度よりも少なくすることにより、レジスト膜に対する選択比を向上させることができる。

【0023】さらに、本件発明者は、フルオロカーボンガスの滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ (但し、 P はフルオロカーボンガスの圧力(単位: Pa)であり、 V は反応室の容積(単位: L)であり、 Q はフルオロカーボンガスの流量(単位: Pa・L/sec)である。)に着目し、種々の容積を持つ反応室において、フルオロカーボンガスの圧力及び流量を変化させて、レジスト膜に対する選択比が向上する滞在時間 τ を求めた。その結果、 C/F 比が0.5以上であるフルオロカーボンガスを用いる場合には、滞在時間 τ が0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下であると、レジスト膜に対する選択比が向上することを見出した。また、滞在時間 τ が0.1(sec)以下である場合に、レジスト膜に対する選択比が向上しないということは、ポリマーの堆積が促進されること、すなわち有機膜の堆積レートが向上することを意味する。

【0024】ところで、滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ の関係式から分かるように、滞在時間 τ は反応室の容積 V によって変化する。

【0025】そこで、滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ と、プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_0 / V$ (但し、 W_0 は電力の大きさであり、 V は反応室の容積である。)との積である $P \times W_0 / Q$ という概念を導入すると、反応室の容積とは無関係に、レジスト膜に対する選択比を向上させたり、又は有機膜の堆積レートを向上させたりすることができることを見出した。

【0026】本件発明は、前記の知見に基づいて成されたものであって、具体的には、以下の通りである。

【0027】本発明に係る第1のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いてシリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程とを備え、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ (但し、 P はフルオロカーボンガスの圧力(単位: Pa)であり、 V は反応室の容積(単位: L)であり、 Q はフルオロカーボンガスの流量(単位: Pa・L/sec)である。)を0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下に制御する。

【0028】第1のプラズマ処理方法によると、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 τ を0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下に制御してシリコン酸化膜に対してエッチングを行なうため、プロセスを安定させた状態で、レジスト膜に対する選択比を2以上に向上させることができる。

【0029】本発明に係る第2のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸

化膜が形成された基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いてシリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程とを備え、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ (但し、 P はフルオロカーボンガスの圧力(単位: Pa)であり、 V は反応室の容積(単位: L)であり、 Q はフルオロカーボンガスの流量(単位: Pa・L/sec)である。)と、プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_0 / V$ (但し、 W_0 は電力の大きさ(単位: W)であり、 V は反応室の容積(単位: L)である。)との積である $P \times W_0 / Q$ の値を 0.8×10^4 (sec・W/m³) よりも大きく且つ 8×10^4 (sec・W/m³) 以下に制御する。

【0030】第2のプラズマ処理方法によると、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 τ とプラズマを生成するために投入される電力の電力密度 P_i との積である $P \times W_0 / Q$ の値を 0.8×10^4 (sec・W/m³) よりも大きく且つ 8×10^4 (sec・W/m³) 以下に制御してシリコン酸化膜に対してエッチングを行なうため、プロセスを安定させた状態で、レジスト膜に対する選択比を2以上に向上させることができる。

【0031】本発明に係る第3のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて基板上に有機膜を堆積する工程とを備え、フルオロカーボンガスの滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ (但し、 P はフルオロカーボンガスの圧力(単位: Pa)であり、 V は反応室の容積(単位: L)であり、 Q はフルオロカーボンガスの流量(単位: Pa・L/sec)である。)を0.1(sec)以下に制御する。

【0032】第3のプラズマ処理方法によると、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 τ を0.1(sec)以下に制御して有機膜の堆積を行なうため、プロセスを安定させた状態で、有機膜の成膜レートを向上させることができる。

【0033】本発明に係る第4のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを導入する工程と、フルオロカーボンガスからなるプラズマを生成し、該プラズマを用いて基板上に有機膜を堆積する工程とを備え、フルオロカーボンガスの滞在時間 $\tau = P \times V / Q$ (但し、 P はフルオロカーボンガスの圧力(単位: Pa)であり、 V は反応室の容積(単位: L)であり、 Q はフルオロカーボンガスの流量(単位: Pa・L/sec)である。)を 0.8×10^4 (sec・W/m³) よりも大きく且つ 8×10^4 (sec・W/m³) 以下に制御してシリコン酸化膜に対してエッチングを行なうため、プロセスを安定させた状態で、レジスト膜に対する選択比を2以上に向上させることができる。

位: L) であり、Q はフルオロカーボンガスの流量 (単位: Pa・L/sec) である。) と、プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_i / V$ (但し、 W_i は電力の大きさ (単位: W) であり、V は反応室の容積 (単位: L) である。) との積である $P \times W_i / Q$ の値を 0.8×10^{-4} (sec・W/m³) 以下に制御する。

【0034】第4のプラズマ処理方法によると、フルオロカーボンガスの反応室における滞在時間 τ とプラズマを生成するために投入される電力の電力密度 P_i との積である $P \times W_i / Q$ の値を 0.8×10^{-4} (sec・W/m³) 以下に制御して有機膜の堆積を行なうため、プロセスを安定させた状態で、有機膜の成膜レートを向上させることができる。

【0035】第1～第4のプラズマ処理方法において、フルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_5F_8 ガス、 C_5F_6 ガス及び C_6F_8 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスであることが好ましい。

【0036】第1～第4のプラズマ処理方法において、滞在時間 τ は、プラズマ処理装置に設けられたマスフローコントローラと、プラズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも1つにより制御されることが好ましい。

【0037】本発明に係る第5のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第1のフルオロカーボンガスを導入する工程と、第1のフルオロカーボンガスからなる第1のプラズマを生成し、該第1のプラズマを用いてシリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第2のフルオロカーボンガスを導入する工程と、第2のフルオロカーボンガスからなる第2のプラズマを生成し、該第2のプラズマを用いて、エッチングが完了したシリコン酸化膜の上に有機膜を堆積する工程とを備え、第1のフルオロカーボンガスの反応室における第1の滞在時間 $\tau_1 = P_1 \times V / Q_1$ (但し、 P_1 は第1のフルオロカーボンガスの圧力 (単位: Pa) であり、V は反応室の容積 (単位: L) であり、 Q_1 は第1のフルオロカーボンガスの流量 (単位: Pa・L/sec) である。) を0.1(sec) よりも大きく且つ1(sec) 以下に制御し、第2のフルオロカーボンガスの反応室における第2の滞在時間 $\tau_2 = P_2 \times V / Q_2$ (但し、 P_2 は第2のフルオロカーボンガスの圧力 (単位: Pa) であり、V は反応室の容積 (単位: L) であり、 Q_2 は第2のフルオロカーボンガスの流量 (単位: Pa・L/sec) である。) を0.1(sec) 以下に制御する。

【0038】第5のプラズマ処理方法によると、プロセスを安定させた状態で、レジスト膜に対する選択比を2

以上に向上させることができると共に有機膜の成膜レートを向上させることができる。

【0039】本発明に係る第6のプラズマ処理方法は、プラズマ処理装置の反応室の内部に、表面にシリコン酸化膜が形成された基板を設置する工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第1のフルオロカーボンガスを導入する工程と、第1のフルオロカーボンガスからなる第1のプラズマを生成し、該第1のプラズマを用いてシリコン酸化膜に対してエッチングを行なう工程と、反応室の内部に、炭素及びフッ素を含み且つフッ素に対する炭素の比率が0.5以上である第2のフルオロカーボンガスを導入する工程と、第2のフルオロカーボンガスからなる第2のプラズマを生成し、該第2のプラズマを用いて、エッチングが完了したシリコン酸化膜の上に有機膜を堆積する工程とを備え、第1のフルオロカーボンガスの反応室における第1の滞在時間 $\tau_1 = P_1 \times V / Q_1$ (但し、 P_1 は第1のフルオロカーボンガスの圧力 (単位: Pa) であり、V は反応室の容積 (単位: L) であり、 Q_1 は第1のフルオロカーボンガスの流量 (単位: Pa・L/sec) である。) と、第1のプラズマを生成するために投入される第1の電力の電力密度 $P_{i1} = W_1 / V$ (但し、 W_1 は第1の電力の大きさ (単位: W) であり、V は反応室の容積 (単位: L) である。) である。) との第1の積である $P_1 \times W_1 / Q_1$ の値を 0.8×10^{-4} (sec・W/m³) よりも大きく且つ 8×10^{-4} (sec・W/m³) 以下に制御し、第2のフルオロカーボンガスの反応室における第2の滞在時間 $\tau_2 = P_2 \times V / Q_2$ (但し、 P_2 は第2のフルオロカーボンガスの圧力 (単位: Pa) であり、V は反応室の容積 (単位: L) であり、 Q_2 は第2のフルオロカーボンガスの流量 (単位: Pa・L/sec) である。) と、第2のプラズマを生成するために投入される第2の電力の電力密度 $P_{i2} = W_2 / V$ (但し、 W_2 は第2の電力の大きさ (単位: W) であり、V は反応室の容積 (単位: L) である。) との第2の積である $P_2 \times W_2 / Q_2$ の値を 0.8×10^{-4} (sec・W/m³) 以下に制御する。

【0040】第6のプラズマ処理方法によると、プロセスを安定させた状態で、レジスト膜に対する選択比を2以上に向上させることができると共に有機膜の成膜レートを向上させることができる。

【0041】第5又は第6のプラズマ処理方法において、第1のフルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_5F_8 ガス、 C_5F_6 ガス及び C_6F_8 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスであり、第2のフルオロカーボンガスは、 C_4F_8 ガス、 C_4F_6 ガス、 C_5F_8 ガス、 C_5F_6 ガス及び C_6F_8 ガスのうちの少なくとも1つを含むガスであることが好ましい。

【0042】第5又は第6のプラズマ処理方法において、第1の滞在時間 τ_1 及び第2の滞在時間 τ_2 は、プ

11

ラズマ処理装置に設けられたマスフローコントローラと、プラズマ処理装置に設けられたバルブ及びポンプとのうちの少なくとも一つによりそれぞれ制御されることが好ましい。

【0043】

12

＊【発明の実施の形態】以下、本発明の各実施形態に係るプラズマ処理方法について説明するが、その前提として、本発明の解決原理について説明する。

【0044】

＊ 【表1】

	×0.133Pa									
	1	5	10	20	30	40	50	60	80	100
1	1.976	9.881	19.76	39.53	59.29	79.05	98.81	118.6	158.1	197.6
5	0.395	1.976	3.953	7.905	11.86	15.81	19.76	23.72	31.62	39.53
10	0.198	0.988	1.976	3.953	5.929	7.905	9.881	11.86	15.81	19.76
15	0.132	0.659	1.318	2.635	3.953	5.27	6.588	7.905	10.54	13.18
20	0.099	0.494	0.988	1.976	2.964	3.953	4.941	5.929	7.905	9.881
25	0.079	0.395	0.791	1.581	2.372	3.162	3.953	4.743	6.324	7.905
50	0.04	0.198	0.395	0.791	1.186	1.581	1.976	2.372	3.162	3.953
100	0.02	0.099	0.198	0.395	0.593	0.791	0.988	1.186	1.581	1.976
150	0.013	0.066	0.132	0.264	0.395	0.527	0.659	0.791	1.054	1.318
200	0.01	0.049	0.099	0.198	0.296	0.395	0.494	0.593	0.791	0.988

× 133.3
79.5
(Pa·L/sec)

【0045】

※ ※ 【表2】

	×0.133Pa									
	1	5	10	20	30	40	50	60	80	100
1	0.791	3.953	7.905	15.81	23.72	31.62	39.53	47.43	63.24	79.05
5	0.158	0.791	1.581	3.162	4.743	6.324	7.905	9.486	12.65	15.81
10	0.079	0.395	0.791	1.581	2.372	3.162	3.953	4.743	6.324	7.905
15	0.053	0.264	0.527	1.054	1.581	2.108	2.635	3.162	4.216	5.27
20	0.04	0.198	0.395	0.791	1.186	1.581	1.976	2.372	3.162	3.953
25	0.032	0.158	0.316	0.632	0.949	1.265	1.581	1.897	2.53	3.162
50	0.016	0.079	0.158	0.316	0.474	0.632	0.791	0.949	1.265	1.581
100	0.008	0.04	0.079	0.158	0.237	0.316	0.395	0.474	0.632	0.791
150	0.005	0.026	0.053	0.105	0.158	0.211	0.264	0.316	0.422	0.527
200	0.004	0.02	0.04	0.079	0.119	0.158	0.198	0.237	0.316	0.395

× 133.3
79.5
(Pa·L/sec)

【0046】

★ ★ 【表3】

	×0.133Pa									
	1	5	10	20	30	40	50	60	80	100
1	3.953	19.76	39.53	79.05	118.6	158.1	197.6	237.2	316.2	395.3
5	0.791	3.953	7.905	15.81	23.72	31.62	39.53	47.43	63.24	79.05
10	0.395	1.976	3.953	7.905	11.86	15.81	19.76	23.72	31.62	39.53
15	0.264	1.318	2.635	5.27	7.905	10.54	13.18	15.81	21.08	26.35
20	0.198	0.988	1.976	3.953	5.929	7.905	9.881	11.86	15.81	19.76
25	0.158	0.791	1.581	3.162	4.743	6.324	7.905	9.486	12.65	15.81
50	0.079	0.395	0.791	1.581	2.372	3.162	3.953	4.743	6.324	7.905
100	0.04	0.198	0.395	0.791	1.186	1.581	1.976	2.372	3.162	3.953
150	0.026	0.132	0.264	0.527	0.791	1.054	1.318	1.581	2.108	2.635
200	0.02	0.099	0.198	0.395	0.593	0.791	0.988	1.186	1.581	1.976

× 133.3
79.5
(Pa·L/sec)

【0047】 【表1】、【表2】及び【表3】は、エッチングガスとして C_5F_8 ガスを用いるプラズマエッチング方法において、反応室の容積、 C_5F_8 ガスの流量及び C_5F_8 ガスの圧力を変化させながらプラズマエッチング

を行なって、反応室におけるガスの滞在時間 τ を求めた実験結果を示している。

【0048】 尚、【表1】は反応室の容積が25リットルの場合であり、【表2】は反応室の容積が10リットル

ルの場合であり、[表3]は反応室の容積が50リットルの場合である。また、滞在時間 τ を求める実験においては、ガス流量として標準状態における1分間当たりの流量(mL)を用いたため、標準状態における1分間当たりのガス流量79.05(mL)=133.3(Pa・L/sec)という換算式に基づき、 C_5F_8 ガスの流量は($\times 133.3/79.05$ (Pa・L/sec))の単位で示している。また、ガス圧力としてmTorrを用いたため、1(mTorr)=0.133(Pa)という換算式に基づき、 C_5F_8 ガスの流量は($\times 0.133$ (Pa))の単位で示している。

【0049】[表1]、[表2]及び[表3]のデータは、反応室の容積(単位:L)、ガス流量(単位:Pa・L/sec)及びガス圧力(単位:Pa)の値を、 $\tau = P \times V / Q$ (但し、 τ は反応室におけるガスの滞在時間(単位:sec)であり、Pはガスの圧力(単位:Pa)であり、Vは反応室の容積(単位:L)であり、Qはガスの流量(単位:Pa・L/sec)である。)の関係式に代入して、ガスの滞在時間 τ を求めた。また、[表1]、[表2]及び[表3]において、太線の枠で囲んだ領域は、レジスト膜に対するシリコン酸化膜の選択比が2以上となる滞在時間を示している。

【0050】従って、[表1]、[表2]及び[表3]から、エッチングガスとして C_5F_8 ガスを用いるプラズマエッチング方法においては、滞在時間 τ が1.0(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下であると、レジスト膜に対するシリコン酸化膜の選択比として2以上の値を得られることが分かる。尚、太枠で囲んだ領域以外の領域においても、滞在時間 τ が1.0~1(sec)の範囲に入っているものもあるが、太枠で囲んだ領域と対応するガス流量及びガス圧力を用いるとプロセスが安定することが経験上分かっている。[表1]、[表2]及び[表3]においては、滞在時間 τ は、0.01(sec)~395.3(sec)の範囲に分布しているが、本発明は、1.0~1(sec)の範囲という極めて狭い領域を選択したものであり、滞在時間をこの極めて狭い領域を選択すると、プロセスが安定すると共にレジスト膜に対するシリコン酸化膜の選択比が2以上になることを見出したものである。

【0051】また、滞在時間 τ が0.1(sec)以下である場合には、対レジスト膜に対する選択比が低くなることは、ポリマーの堆積が促進されること、すなわち有機膜の堆積レートが向上することを意味する。従って、ガスの滞在時間 τ を0.1(sec)以下に設定すると、有機膜の堆積レートが向上する。

【0052】ところで、前述した $\tau = P \times V / Q$ の関係式から分かるように、滞在時間 τ は反応室の容積Vによって変化する。

【0053】そこで、プラズマを生成するために投入される電力の電力密度 $P_i = W_0 / V$ (但し、 W_0 は電力

の大きさ(単位:W)であり、Vは反応室の容積(単位:L)である。)と、滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ という概念を導入する。このようにすると、反応室の容積とは無関係に、レジスト膜に対する選択比を向上させたり、又は有機膜の堆積レートを向上させたりすることができる。

【0054】滞在時間 τ が1.0よりも小さく且つ1(sec)以下の範囲であるということは、滞在時間 τ と電力密度 P_i との積 E が 0.8×10^{-4} (sec・W/m²)よりも大きく且つ 8×10^{-4} (sec・W/m²)以下であるということに相当する。

【0055】従って、滞在時間 τ と電力密度 P_i との積 E が 0.8×10^{-4} (sec・W/m²)よりも大きく且つ 8×10^{-4} (sec・W/m²)以下であると、プロセスが安定すると共にレジスト膜に対するシリコン酸化膜の選択比が2以上になる。

【0056】滞在時間 τ と電力密度 P_i との積 E が 0.8×10^{-4} (sec・W/m²)以下であると、有機膜の堆積レートが向上する。

【0057】図2は、エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間 τ とBPSG(Boro-phospho-silicate glass)及びレジスト膜のエッチングレートとの関係を示している。尚、図2において、★は C_2F_6 ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、◆は C_4F_8 ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、●は C_5F_8 ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、☆は C_2F_6 ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示し、◇ C_4F_8 ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示し、○は C_5F_8 ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示している。

【0058】図2から、 C_4F_8 ガス及び C_5F_8 ガスを用いる場合、滞在時間が短くなると、BPSG膜及びレジスト膜のエッチングレートが小さくなることが分かる。これは、BPSG膜及びレジスト膜の各表面にポリマー膜が堆積し、該ポリマー膜がエッチングを抑制する働きをするためであると考えられる。一方、 C_2F_6 ガスを用いる場合、滞在時間が短くなると、BPSG膜及びレジスト膜のエッチングレートが大きくなることが分かる。

【0059】図3は、レジスト膜のエッチングレートに対するBPSG膜のエッチングレートの比つまりレジスト膜に対する選択比の滞在時間 τ に対する依存性を示している。尚、図3において、★は C_2F_6 ガスを用いたときの選択比を示し、◆は C_4F_8 ガスを用いたときの選択比を示し、●は C_5F_8 ガスを用いたときの選択比を示している。

【0060】図3から、 C_4F_8 ガス及び C_5F_8 ガスを用いる場合、滞在時間を短くすると、レジスト膜に対する選択比が大きくなることが分かる。もっとも、 C_4F_8 ガ

スを用いる場合、滞在時間が0.2 (sec) 以下では、選択比は低下する。これは、レジスト膜のエッチングレートとの低下よりもBPSG膜のエッチングレートとの低下の方が大きくなるためである。一方、 C_2F_6 ガスを用いる場合、選択比は滞在時間に殆ど依存しないことが分かる。

【0061】以上の考察から、 C_4F_8 ガス及び C_5F_8 ガスのように、炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを用いる場合、滞在時間を0.1 (sec) よりも大きく且つ1 (sec) 以下に制御すると、エッチング選択性が向上することが確認される。

【0062】図4は、誘導結合型プラズマ処理装置において、フルオロカーボンガスからなるプラズマを発生させた場合の、 F^- イオン、 CF_2^- イオン、 $C_2F_5^-$ イオン、 $C_3F_7^-$ イオン、 $C_7F_{11}^-$ イオン及び $C_8F_{11}^-$ イオンの各イオン量の滞在時間に対する依存性を示しており、この測定は電子付着質量分析法を用いて行なったものである。従って、 F^- イオンは全ての C_xF_y 分子からの解離性電子付着過程によって生成されたものであり、 CF_2^- イオンは CF_4 分子からの解離性電子付着過程によって生成され、 $C_2F_5^-$ イオンは C_2F_6 分子からの解離性電子付着過程によって生成されている。また、 $C_3F_7^-$ イオン、 $C_7F_{11}^-$ イオン及び $C_8F_{11}^-$ イオンについては、同様の解離性電子付着過程と、非解離性電子付着過程との両方の過程で生成されたものである。

【0063】図4から、滞在時間を短くすると、 F^- イオン、 CF_2^- イオン及び $C_2F_5^-$ イオン等の低次イオンは減少する一方、 $C_3F_7^-$ イオン、 $C_7F_{11}^-$ イオン及び $C_8F_{11}^-$ イオン等の高次イオンは増加することが分かる。すなわち、滞在時間を短くすると、低次分子が減少する一方、高次分子が増加することが分かり、従って、滞在時間を短くすると、レジスト膜に対する選択性が向上することが分かる。

【0064】図5は、エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間 t と電力密度 P_i との積 E と、BPSG及びレジスト膜のエッチングレートとの関係を示している。尚、図5においては、電力密度 P_i は1800Wとして計算している。また、図5において、★は C_2F_6 ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、◆は C_4F_8 ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、

☆は C_5F_8 ガスを用いたときのBPSG膜に対するエッチングレートを示し、☆は C_2F_6 ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示し、◇ C_4F_8 ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示し、○は C_5F_8 ガスを用いたときのレジスト膜に対するエッチングレートを示している。

【0065】図5から、 C_4F_8 ガス及び C_5F_8 ガスを用いる場合、滞在時間と電力密度との積 E が小さくなると、BPSG膜及びレジスト膜のエッチングレートが小

さくなることが分かる。これは、前述した、滞在時間 t と、BPSG膜及びレジスト膜のエッチングレートとの間の関係と同様の関係が成り立つためである。

【0066】図6は、レジスト膜に対する選択比の、滞在時間と電力密度との積 E に対する依存性を示している。尚、図6においては、電力密度 P_i は1800Wとして計算している。また、図6において、★は C_2F_6 ガスを用いたときの選択比を示し、◆は C_4F_8 ガスを用いたときの選択比を示し、●は C_5F_8 ガスを用いたときの選択比を示している。

【0067】図6から、 C_4F_8 ガス及び C_5F_8 ガスを用いる場合、滞在時間と電力密度との積 E を小さくすると、レジスト膜に対する選択比が大きくなることが分かる。これは、前述した滞在時間と選択比との間の関係と同様の関係が成り立つためである。

【0068】以上の考察から、 C_4F_8 ガス及び C_5F_8 ガスのように、炭素の比率が0.5以上であるフルオロカーボンガスを用いる場合、滞在時間と電力密度との積 E を 0.8×10^4 (sec · W/m²) よりも大きく且つ 8×10^4 (sec · W/m²) 以下に制御すると、エッチング選択性が向上することが確認される。

【0069】図7は、誘導結合型プラズマ処理装置において、フルオロカーボンガスからなるプラズマを発生させた場合の、 F^- イオン、 CF_2^- イオン、 $C_2F_5^-$ イオン、 $C_3F_7^-$ イオン、 $C_7F_{11}^-$ イオン及び $C_8F_{11}^-$ イオンの各イオン量の滞在時間に対する依存性を示している。

【0070】図7から、滞在時間と電力密度との積 E を小さくすると、 F^- イオン、 CF_2^- イオン及び $C_2F_5^-$ イオン等の低次イオンは減少する一方、 $C_3F_7^-$ イオン、 $C_7F_{11}^-$ イオン及び $C_8F_{11}^-$ イオン等の高次イオンは増加することが分かる。すなわち、滞在時間と電力密度との積 E を小さくすると、レジスト膜に対する選択性が向上することが分かる。

【0071】図8(a)～(c)は、滞在時間をパラメーターとして、 F^- イオンの電子エネルギーの強度分布を測定した結果を示しており、図8(a)は滞在時間が4.5 (sec) の場合であり、図8(b)は滞在時間が5.2 (sec) の場合であり、図8(c)は滞在時間が13.5 (sec) の場合である。これらの強度分布は、各分子からの解離性のフラグメントを観察することができ且つ断面積が既知のものに関しては測定が可能である。

【0072】図8(a)～(c)から、 C_2F_6 ガス及び C_3F_8 ガスについては、滞在時間が長くなると、 C_2F_6 ガス及び C_3F_8 ガスが増加することが分かる。この現象は、図3に示す結果と整合性を有している。また、図8(a)～(c)から、滞在時間を短くすると、環境に悪影響を及ぼす C_2F_6 ガス又は C_3F_8 ガス等の規制対象フルオロカーボンガスを低減できることが分かる。

【0073】ところで、特開平5-259119号公報においては、高速排気ポンプを用いて滞在時間 τ を短くし、これによって、エッチング選択比の向上を図る技術が提案されている。特開平5-259119号公報における[0051]、図7及びその説明の箇所に示されている技術は、一見すると本件発明と類似している。

【0074】ところが、特開平5-259119号公報の発明が解決しようとする課題は、化学式： $\text{SiO}_2 + \text{CF}_x \rightarrow \text{SiF}_x + \text{CO}_2$ で表わされる右辺の CO_2 を高速排気することにより、ウエハからの反応生成物（ CO_2 等）の影響を少なくしようとするものであり、特開平5-259119号公報の発明はエッチングガスに関する特定がされていない。

【0075】これに対して、本件発明は、前記のような課題は一切なく、C/F比が大きいガスを用いてエッチングする場合に、レジスト膜に対する選択比を確実に高くするには、滞在時間 τ 又は滞在時間と電力密度との積 E を所定範囲に設定することが重要であるということを見出したものである。従って、エッチングガスの特定が成されていない特開平5-259119号公報の発明と、プロセスガスをC/F比が2以上であるフルオロカーボンガスに特定している本件発明とは、技術的思想、構成及び効果の点で全く異なるものである。

【0076】（第1の実施形態）以下、第1の実施形態に係るプラズマ処理方法について、図1及び図9を参照しながら説明する。

【0077】まず、ステップSA1において、プラズマ処理装置の反応室10の内部に、半導体基板を搬入して、該半導体基板を試料台20の上に設置する。この場合、半導体基板の上にはシリコン酸化膜が形成されていると共に、該シリコン酸化膜の上にはパターン化されたレジスト膜が形成されている。

【0078】次に、ステップSA2において、反応室10の内部に、C/F比が0.5以上であるフルオロカーボンガス、例えば C_5F_8 ガスを導入する。この場合、ガス圧力としては、0.665 Pa～3.99 Paの範囲、例えば1.33 Paになるように制御する。

【0079】次に、ステップSA3において、 $\tau = P \times V / Q$ （但し、 τ は反応室におけるガスの滞在時間（単位：sec）であり、Pはガスの圧力（単位：Pa）であり、Vは反応室の容積（単位：L）であり、Qはガスの流量（単位：Pa・L/sec）である。）の関係式を用いて、滞在時間 τ が0.1（sec）よりも小さく且つ1（sec）以上になるように、マスフローコントローラ15を調整してガス流量を制御する。

【0080】次に、ステップSA4において、第1の高周波電源13から誘導コイル12に第1の高周波電力を印加して、フルオロカーボンガス例えば C_5F_8 ガスからなるプラズマを生成する。この場合、滞在時間 τ が0.1（sec）よりも小さく且つ1（sec）以上になるよう

にガス流量を制御すると、プラズマを生成するために投入される第1の高周波電力の電力密度 $P_i = W_0 / V$

（但し、 W_0 は電力の大きさ（単位：W）であり、Vは反応室の容積（単位：L）である。）と、滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ は、必然的に $0.8 \times 10^{-4} \text{ (sec} \cdot \text{W/m}^3\text{)}$ よりも大きく且つ $8 \times 10^{-4} \text{ (sec} \cdot \text{W/m}^3\text{)}$ 以下に設定される。

【0081】次に、ステップSA5において、第2の高周波電源22から試料台20に第2の高周波電力を印加して、生成されたプラズマを試料台20の上の半導体基板上に導入して、ステップSA6において、レジスト膜をマスクにしてシリコン酸化膜に対してプラズマエッチングを行なう。

【0082】第1の実施形態によると、パフルオロカーボンガスの反応室内における滞在時間 τ を0.1（sec）よりも小さく且つ1（sec）以上に設定すると共に、第1の高周波電力の電力密度 P_i と滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ を $0.8 \times 10^{-4} \text{ (sec} \cdot \text{W/m}^3\text{)}$ よりも大きく且つ $8 \times 10^{-4} \text{ (sec} \cdot \text{W/m}^3\text{)}$ 以下に設定したため、シリコン酸化膜のレジスト膜に対する選択比を2以上にすることができる。

【0083】（第2の実施形態）以下、第2の実施形態に係るプラズマ処理方法について、図1及び図10を参照しながら説明する。

【0084】まず、ステップSB1において、プラズマ処理装置の反応室10の内部に、半導体基板を搬入して、該半導体基板を試料台20の上に設置する。

【0085】次に、ステップSB2において、反応室10の内部に、C/F比が0.5以上であるフルオロカーボンガス、例えば C_5F_8 ガスを導入する。この場合、ガス圧力としては、0.665 Pa～3.99 Paの範囲、例えば1.33 Paになるように制御する。

【0086】次に、ステップSB3において、前述の関係式 $\tau = P \times V / Q$ を用いて、滞在時間 τ が0.1（sec）以下になるように、マスフローコントローラ15を調整してガス流量を制御する。

【0087】次に、ステップSB4において、第1の高周波電源13から誘導コイル12に第1の高周波電力を印加して、フルオロカーボンガス例えば C_5F_8 ガスからなるプラズマを生成する。この場合、滞在時間 τ が0.1（sec）以下になるようにガス流量を制御すると、プラズマを生成するために投入される第1の高周波電力の電力密度 P_i と滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ は、必然的に $0.8 \times 10^{-4} \text{ (sec} \cdot \text{W/m}^3\text{)}$ 以下に設定される。

【0088】次に、ステップSB5において、第2の高周波電源22から試料台20に第2の高周波電力を印加して、生成されたプラズマを試料台20の上の半導体基板上に導入して、ステップSA6において、半導体基板の上に有機膜を堆積する。

【0089】第2の実施形態によると、パフルオロカーボンガスの反応室内における滞在時間 τ を0.1(sec)以下に設定すると共に、第1の高周波電力の電力密度 P_i と滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ を $0.8 \times 10^{-4} (\text{sec} \cdot \text{W} / \text{m}^3)$ 以下に設定したため、有機膜を優れた堆積レートで形成することができる。

【0090】(第3の実施形態)以下、第3の実施形態に係るプラズマ処理方法について、図1及び図11を参照しながら説明する。

【0091】まず、ステップSC1において、プラズマ処理装置の反応室10の内部に、半導体基板を搬入して、該半導体基板を試料台20の上に設置する。

【0092】次に、ステップSC2において、反応室10の内部に、C/F比が0.5以上である第1のフルオロカーボンガス、例えば C_5F_8 ガスを導入する。この場合、ガス圧力としては、0.665 Pa \sim 3.99 Paの範囲、例えば1.33 Paになるように制御する。

【0093】次に、ステップSC3において、前述の関係式 $\tau = P \times V / Q$ を用いて、滞在時間 τ が0.1(sec)よりも大きく且つ1(sec)以下になるように、マスフローコントローラ15を調整して第1のガスの流量を制御する。

【0094】次に、ステップSC4において、第1の高周波電源13から誘導コイル12に第1の高周波電力を印加して、第1のフルオロカーボンガス例えば C_5F_8 ガスからなる第1のプラズマを生成する。この場合、滞在時間 τ が0.1(sec)よりも小さく且つ1(sec)以上になるように第1のガスの流量を制御すると、第1のプラズマを生成するために投入される第1の高周波電力の電力密度 P_i と滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ は、必然的に $0.8 \times 10^{-4} (\text{sec} \cdot \text{W} / \text{m}^3)$ よりも大きく且つ $8 \times 10^{-4} (\text{sec} \cdot \text{W} / \text{m}^3)$ 以下に設定される。

【0095】次に、ステップSC5において、第2の高周波電源22から試料台20に第2の高周波電力を印加して、第1のプラズマを試料台20の上の半導体基板上に導入して、ステップSC6において、レジスト膜をマスクにしてシリコン酸化膜に対してプラズマエッチングを行なう。

【0096】次に、プラズマエッチングが完了すると、ステップSC7において、第1のパフルオロカーボンガスの導入を停止した後、反応室10の内部に酸素ガスを導入すると共に、該酸素ガスからなる酸素プラズマを生成して、シリコン酸化膜上のレジスト膜をアッシングにより除去する。

【0097】次に、ステップSC8において、反応室10の内部に、C/F比が0.5以上である第2のフルオロカーボンガス、例えば C_6F_8 ガスを導入する。この場合、ガス圧力としては、0.665 Pa \sim 3.99 Paの範囲、例えば1.33 Paになるように制御する。

【0098】次に、ステップSC9において、前述の関係式 $\tau = P \times V / Q$ を用いて、滞在時間 τ が0.1(sec)以下になるように、マスフローコントローラ15を調整して第2のガスの流量を制御する。

【0099】次に、ステップSC10において、第1の高周波電源13から誘導コイル12に第1の高周波電力を印加して、第2のフルオロカーボンガス例えば C_6F_8 ガスからなるプラズマを生成する。この場合、第2のガスの滞在時間 τ が0.1(sec)以下になるようにガス流量を制御すると、第2のプラズマを生成するために投入される第1の高周波電力の電力密度 P_i と滞在時間 τ との積である $E = P \times W_0 / Q$ は、必然的に $0.8 \times 10^{-4} (\text{sec} \cdot \text{W} / \text{m}^3)$ 以下に設定される。

【0100】次に、ステップSC11において、第2の高周波電源22から試料台20に第2の高周波電力を印加して、生成されたプラズマを試料台20の上の半導体基板上に導入して、ステップSC12において、シリコン酸化膜の上に有機膜を堆積する。

【0101】尚、第1 \sim 第3の実施形態においては、フルオロカーボンガスとして、 C_5F_8 ガスを単独で用いたが、これに代えて、 C_4F_8 ガス、 C_6F_8 ガス、 C_3F_8 ガス又は C_6F_6 ガスを単独で用いてもよしし、これらのガスの混合ガスを用いてもよい。

【0102】また、第3の実施形態においては、第1のフルオロカーボンガスと第2のフルオロカーボンガスとは同じガスであったが、第1のフルオロカーボンガスと第2のフルオロカーボンガスとは同じガスであってもよいし、異なるガスであってもよい。

【0103】また、第1 \sim 第3の実施形態においては、プラズマ処理装置としては、誘導結合型プラズマ処理装置を用いたが、これに代えて、ECRプラズマ処理装置又は面波励起型プラズマ処理装置等を用いることができる。

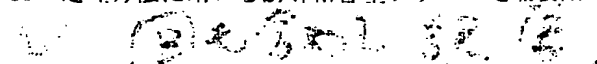
【0104】さらに、第1 \sim 第3の実施形態においては、ガス流量の制御は、マスフローコントローラ15の調整により行なったが、これに代えて、マスフローコントローラ15の調整と、圧力制御バルブ18及び排気ポンプ19の調整とのうちの少なくとも一方の調整により行なってもよい。また、フルオロカーボンガスの流量の調整は、プロセスガスに、不活性ガス、窒素ガス、一酸化炭素ガス又は二酸化炭素ガスを混合すると共に、これらのガスの流量を調整することにより行なってもよい。

【0105】

【発明の効果】本発明に係るプラズマ処理方法によると、プロセスを安定させた状態で、レジスト膜に対する選択比を2以上に向上させることができると共に有機膜の成膜レートを向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来例及び本発明の各実施形態に係るプラズマ処理方法に用いる誘導結合型プラズマ処理装置の概略断



面図である。

【図2】エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間とBPSG及びレジスト膜のエッチングレートとの関係を示す図である。

【図3】エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間とレジスト膜に対する選択比との関係を示す図である。

【図4】誘導結合型プラズマ処理装置において、フルオロカーボンガスからなるプラズマを発生させた場合の各種イオンの滞在時間に対する依存性を示す図である。

【図5】エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間と電力密度との積と、BPSG及びレジスト膜のエッチングレートとの関係を示す図である。

【図6】エッチングガスを変えてプラズマエッチングを行なったときの、滞在時間と電力密度との積と、レジスト膜に対する選択比との関係を示す図である。

【図7】誘導結合型プラズマ処理装置において、フルオロカーボンガスからなるプラズマを発生させた場合の各種イオンの、滞在時間と電力密度との積に対する依存性を示す図である。

【図8】(a)は滞在時間が4.5(sec)である場合において、 F^- イオンの電子エネルギーの強度分布を測定した結果を示す図であり、(b)は滞在時間が5.2(sec)である場合において、 F^- イオンの電子エネルギー

ギーの強度分布を測定した結果を示す図であり、(c)は滞在時間が13.5(sec)である場合において、 F^- イオンの電子エネルギーの強度分布を測定した結果を示す図である。

【図9】第1の実施形態に係るプラズマ処理方法を示すフロー図である。

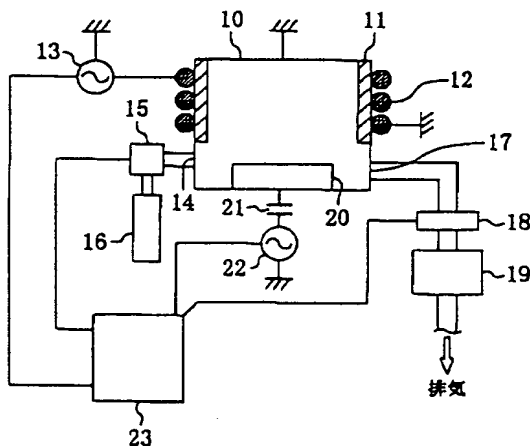
【図10】第2の実施形態に係るプラズマ処理方法を示すフロー図である。

【図11】第3の実施形態に係るプラズマ処理方法を示すフロー図である。

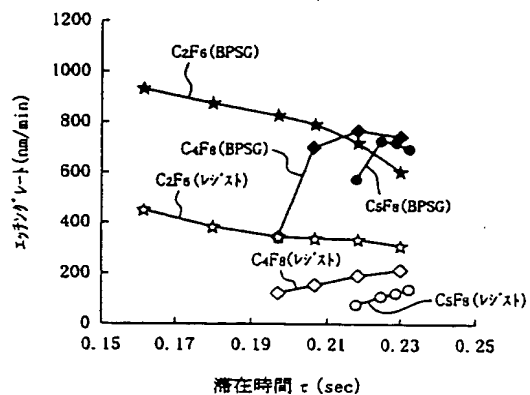
【符号の説明】

- 10 反応室
- 11 石英板
- 12 誘導コイル
- 13 第1の高周波電源
- 14 ガス導入部
- 15 マスフローコントローラ
- 16 ガス供給源
- 17 ガス排出部
- 18 圧力制御バルブ
- 19 排気ポンプ
- 20 試料台
- 21 マッチング回路
- 22 第2の高周波電源
- 23 制御装置

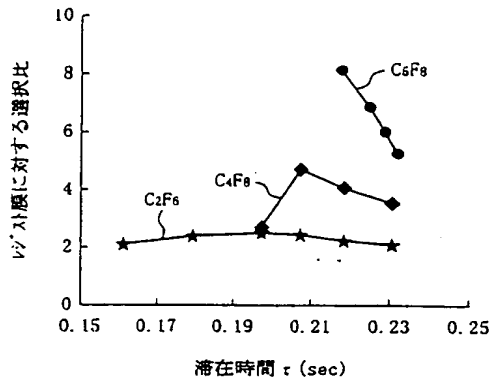
【図1】



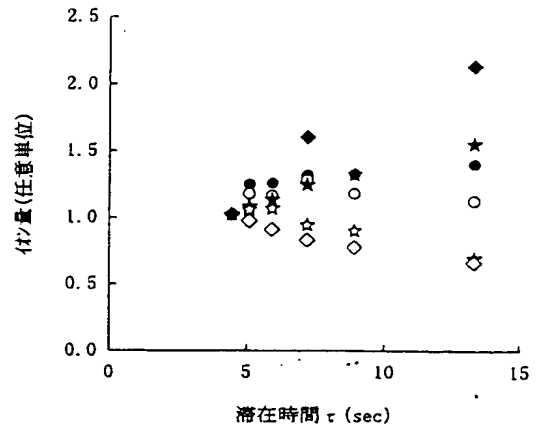
【図2】



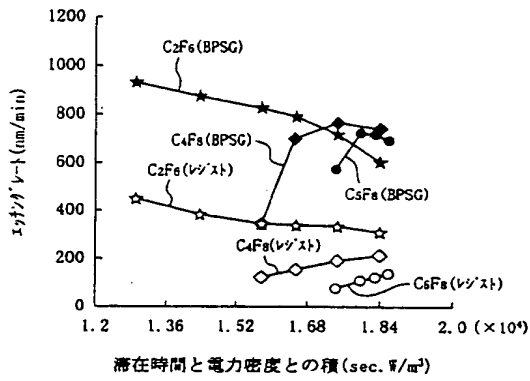
【図3】



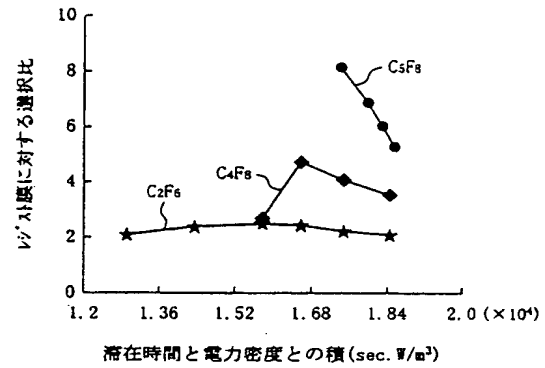
【図4】



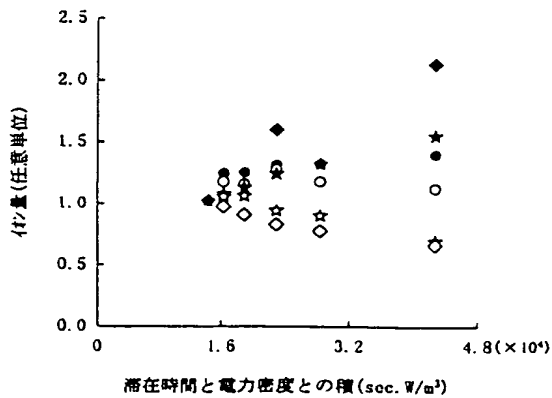
【図5】



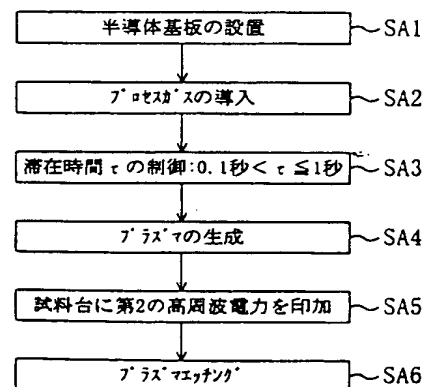
【図6】



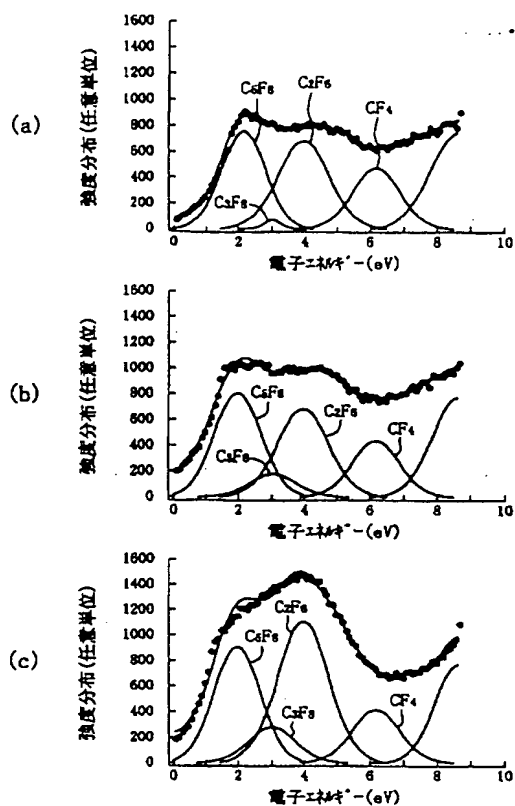
【図7】



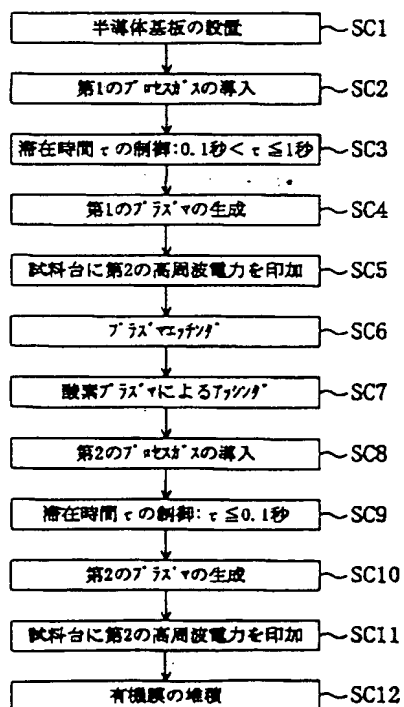
【図9】



【図8】



【図11】



【図10】

